



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA - ALIMENTOS
LICENCIATURA EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO**

TESIS:

**“RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES DE ALMIDÓN CON CÁSCARA DE
MANGO MANILA (*Mangifera indica* L. variedad manila) ADICIONADOS A
RODAJAS DE MANZANA (*Malus domestica*)”**

PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN:

QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

p. Q.F.B. MARIANA ROJAS BRAVO

DIRECTOR DE TESIS.

D.C. CARLOS ENRIQUE OCHOA VELASCO

CO-DIRECTOR DE TESIS:

D.C. RAÚL ÁVILA- SOSA SÁNCHEZ



NOVIEMBRE DE 2018

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Mango.....	7
2.2 Antioxidantes.....	8
2.2.1 Compuestos fenólicos.....	9
2.2.2 Ácidos fenólicos.....	10
2.2.3 Flavonoides.....	11
2.2.4 Polifenoles.....	12
2.3 Antioxidantes en la cáscara de mango.....	13
2.4 Manzana gala.....	15
2.4.1 Antioxidantes en la manzana.....	15
2.5 Recubrimientos comestibles.....	16
2.5.1 Clasificación de recubrimientos comestibles.....	17
2.5.2 Métodos de aplicación de recubrimientos comestibles.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	20
4. OBJETIVOS.....	21
4.1 Objetivo general.....	21
4.2 Objetivos específicos.....	21
5. DIAGRAMA DE TRABAJO.....	22
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
7. METODOLOGÍA.....	26
7.1 Primera etapa: Adquisición de mango manila (<i>Mangifera indica</i> L.), lavado, desinfectado y obtención de la cáscara.....	26
7.2 Segunda etapa: Irradiación de la cáscara de mango con luz UV-C. Deshidratado, molienda de la cáscara y tamizado del polvo de cáscara de mango irradiada..	26
7.3 Tercera etapa: Adquisición de manzana gala (<i>Malus domestica</i>), lavado, desinfectado, descorazonamiento y corte en rodajas.....	26
7.4 Cuarta etapa: Formulación de recubrimientos comestibles de almidón con cáscara de mango.....	26

7.5 Quinta etapa: Recubrimiento de rodajas de manzana con las diferentes formulaciones correspondientes.....	27
7.6 Sexta etapa: Secado y almacenamiento en refrigeración.....	27
7.7 Séptima etapa: Análisis de las rodajas de manzana con recubrimientos comestibles de almidón con cáscara de mango adicionados a rodajas de manzana.....	27
7.8 Octava etapa: Análisis de resultados.....	30
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
8.1 Caracterización de las rodajas de manzana.....	30
8.2 Evaluación de las características de calidad de rodajas de manzana durante el almacenamiento.....	30
8.2.1 Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.....	30
8.2.2 Firmeza (resistencia a la penetración).....	32
8.2.3 Índice de oscurecimiento (color).....	33
8.2.4 Carga microbiana.....	35
9. CONCLUSIÓN.....	37
10. SUGERENCIAS.....	38
11. BIBLIOGRAFÍA.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes nutrimentales en la cáscara de mango (<i>Mangifera indica</i> L.).....	14
Tabla 2. Contenido de flavonoides y glucósidos de xantonas en la cáscara de mango manila (<i>Mangifera indica</i> L.).....	14
Tabla 3. Equipos, marca y modelo usados.....	23
Tabla 4. Métodos y referencias de técnicas aplicadas.....	24
Tabla 5. Características fisicoquímicas en rodajas de manzana fresca y con recubrimiento.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas antioxidantes enzimáticos y reacciones que catalizan.....	9
Figura 2. Estructura química de los ácidos fenólicos.....	10
Figura 3. Estructura básica del esqueleto flavonólico y sistema de numeración.....	11
Figura 4. Núcleo estructural de los principales grupos de flavonoides.....	12
Figura 5. Compuestos fenólicos descritos en manzanas.....	16
Figura 6. Efecto de las diferentes formulaciones sobre flavonoides totales en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.....	32
Figura 7. Efecto de las diferentes formulaciones sobre los compuestos fenólicos en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.....	32
Figura 8. Efecto de las diferentes formulaciones sobre la capacidad antioxidante en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.....	33
Figura 9. Efecto de las diferentes formulaciones sobre la firmeza (resistencia a la penetración) en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.....	34
Figura 10. Efecto de las diferentes formulaciones sobre el índice de oscurecimiento (color) en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.....	35
Figura 11. Efecto de las diferentes formulaciones sobre el crecimiento de bacterias mesofílicas aerobias en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.....	36
Figura 12. Efecto de las diferentes formulaciones sobre el crecimiento de hongos y levaduras en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.....	36

RESUMEN

México, en los últimos años ha ocupado el quinto y decimotercer lugar a nivel mundial referido al volumen de producción del mango y manzana, respectivamente, siendo los frutos de mayor aprecio y posicionándose entre las 3 primeras frutas (plátano, mango y manzana) más consumidas en México. El mango es un fruto no sólo de interés nutricional, sino además es ampliamente utilizada como materia prima de diferentes productos alimenticios. La cáscara de mango, es considerado como un residuo orgánico con una gran cantidad de componentes nutritivos, teniendo principalmente almidón, fibra, minerales, vitaminas y un importante contenido de compuestos antioxidantes, por lo cual existe interés para aplicar estos subproductos con el fin de obtener productos a partir de la cáscara de mango, así como reducir problemas ambientales y sanitarios causado por esta. De manera similar, la manzana es una excelente fuente de nutrientes, tal como los flavonoides.

En este estudio se observó que la aplicación de recubrimientos comestibles con cáscara de mango adicionado a rodajas de manzana aumentó el contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, sólidos solubles totales, acidez titulable, la resistencia a la penetración, el índice de oscurecimiento, además de mantener constante el pH. Durante el almacenamiento las rodajas de manzanas recubiertas mostraron un aumento en flavonoides totales y una disminución no significativa de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, un aumento en el índice de oscurecimiento, disminución de la resistencia a la penetración y presentando crecimiento de microorganismos que cumplen con la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria alimentaria, además de obtener el producto deseado, genera subproductos, residuos y productos fuera de norma, que pueden servir para consumo humano o animal y aplicación industrial, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, antioxidantes, entre otros, con lo que también se obtendrían beneficios económicos.

El mango es una fruta tropical de gran importancia económica en México, puesto que en 2016 se consolidó como el quinto lugar mundial en producción de mango (SAGARPA, 2017). El uso industrial del mango genera alrededor del 30-40% de residuos (cáscara y hueso). Existen estudios de usos alternativos de residuos orgánicos industriales provenientes del mango, en los que se promueve la creación de nuevos productos que beneficien a la sociedad a partir de los mismos, considerando que la cáscara de mango es rica en antioxidantes, principalmente polifenoles que pueden ser utilizados como aditivos alimenticios.

Por otra parte, México es el decimotercer productor de manzana en el mundo. En su mayor parte la manzana se consume cruda, cocinada en numerosos postres o procesada como jugo, néctar, sidra, yogurth, deshidratada, refrescos, vinagre, etc. Se cultiva en todas partes del mundo. Es una de las frutas más completas nutricionalmente, ya que 85% de su composición es agua y contiene bastante fibra. Además contiene vitamina A, B₆, C, E, calcio, hierro, magnesio, nitrógeno, fósforo, potasio, ácido fólico y otros compuestos antioxidantes (SAGARPA, 2017).

Las películas y recubrimientos comestibles se definen como matrices continuas que pueden ser formadas por proteínas, polisacáridos y/o lípidos. Su utilidad recae en la capacidad de actuar como un accesorio que mejora la calidad de un alimento, extendiendo su vida de anaquel y la posibilidad de aumentar la eficiencia de los empaques de alimentos, mediante la incorporación de diversas sustancias que enriquecen sus propiedades funcionales (Yepes *et al.* 2008).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles de almidón adicionados con cáscara de mango manila sobre la vida en anaquel de rodajas de manzana gala.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Mango

En México la introducción del mango manila se realizó a fines del siglo XVIII, fue traído por los españoles desde China al Puerto de Acapulco; como cultivo se estableció y dispersó en la Costa del Golfo de México, sobre todo el estado de Veracruz (Villanueva, 2016). Mangifera es un árbol de sombra densa, foliación perene y crecimiento medio. Su tronco recto, cuyo diámetro puede llegar a 75 - 100 cm, va de los 10 a 30 m de altura. “El fruto es de una sola semilla (monospermo) con un mesocarpo carnoso y fibroso que rodea al endocarpo (semilla) y con una cáscara gruesa (SAGARPA, 2017).

En la madurez comercial, los carbohidratos del mango corresponden principalmente a azúcares solubles (8% en promedio) de los cuales la mayor parte es sacarosa (aproximadamente 5%), fructosa (entre 1.5 y 2%) y glucosa (0.5% en promedio). Su contenido en almidón, pectina y fibra, aportan textura a los productos preparados con mango, sus pigmentos confieren color, la presencia de ácidos y antioxidantes, por un lado dan estabilidad química y de algún modo constituyen una barrera relativa contra el crecimiento de microorganismos. Además de las propiedades nutricionales, los componentes y propiedades fisicoquímicas del mango, le propiedades tecnológicas que le permiten desempeñarse como materia prima principal o como ingrediente (Villanueva, 2016).

En promedio 12 a 16% de la producción nacional de mango, se destina a la exportación, el 88 u 84% restante se destina al consumo nacional de cual, en promedio de 13 al 16% se industrializa, el resto, se consume en fresco o se pierde (Villanueva, 2016).

Si bien, los procesadores de mango utilizan principalmente la variedad manila, debido a que el producto final es uniforme en su calidad (color, olor, sabor, rendimiento, etc.). Muy pocos estudios existen sobre la composición y propiedades tecnológicas de las otras variedades (Villanueva, 2016). El mango es útil como materia prima o ingrediente en todas las etapas desde la madurez fisiológica (mango verde) hasta la madurez comercial, así como los residuos, como la cáscara la cual es rica en pectinas y moléculas bioactivas para su uso como nutraceutos o ingredientes en alimentos funcionales. Los frutos de mango verde se utilizan comúnmente para chutney dulce o salado (salsa de mango), encurtidos y bebidas de mango verde. Con el fruto de mango maduro se producen rebanadas en conserva, pulpa, mermelada, jugo, néctar, rebanadas o trocitos de pulpa deshidratados por métodos diversos, mango en polvo, barras de frutas de mango (Villanueva, 2016).

En la actualidad, es indispensable considerar el aprovechamiento integral de las materias primas, en el caso del mango, existen alternativas para el aprovechamiento de las semillas, las cuales son consideradas una fuente de energía y un buen sustituto parcial de la harina de maíz, por lo que a partir de la cáscara se ha desarrollado harina, como ingrediente funcional (Jahurul *et al.* 2015).

2.2 Antioxidantes

Los antioxidantes son sustancias que retrasan o impiden la oxidación de sustratos oxidables celulares, pueden ser naturales o sintéticos: estos compuestos son necesarios para evitar la formación y oponerse a la acción de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno que se generan in vivo y provocan daño al ADN, lípidos, proteínas y otras biomoléculas. Como defensas endógenas antioxidantes (superóxidodismutasa, enzimas H_2O_2 – eliminación, proteínas de unión de metal) son inadecuados para prevenir por completo el daño, por lo que los antioxidantes obtenidos de la dieta son importantes en el mantenimiento de la salud (Halliwell, 1996).

Los radicales libres se encuentran naturalmente en el cuerpo humano como un subproducto del metabolismo y pueden ser generados por los macrófagos como parte del proceso de fagocitosis. También se pueden formar por exposición a radiación, humo del tabaco, ciertos contaminantes, disolventes orgánicos, pesticidas e inclusive durante el ejercicio intenso. Los radicales libres tienen mucho que ver con la etiología o historia natural de muchos padecimientos como el cáncer y enfermedades cardíacas, vasculares y neurodegenerativas. Por lo tanto, los antioxidantes, que pueden neutralizar a los radicales libres, pueden ser de vital importancia en la prevención de estas enfermedades (Hernández, 2003).

El oxígeno es una molécula básicamente oxidante, hasta el punto de que es el principal responsable de la producción de especies oxidantes en las células de metabolismo aerobio (Paredes y Roca, 2002).

Los oxidantes, aunque son químicamente muy inestables y altamente tóxicos para las células, se producen en condiciones normales en el interior de éstas. Se estima que el 5% de todo el oxígeno que consumimos en las etapas finales del metabolismo oxidativo sigue la llamada vía univalente. Varios de los metabolitos intermedios que se generan son radicales libres. Por tanto, el metabolismo normal es una fuente de radicales libres (Paredes y Roca, 2002).

El estrés oxidativo se ha definido como la exposición de la materia viva a fuentes que producen una ruptura del equilibrio que debe existir entre las sustancias o factores prooxidantes y los mecanismos antioxidantes encargados de eliminar dichas especies reactivas del oxígeno, como se

muestra en la Figura 1. Teniendo como consecuencia alteraciones de la relación estructura-función en cualquier órgano, sistema o grupo celular especializado (Venéreo, 2002). La actividad antioxidante mide la capacidad para retardar la degradación oxidativa.

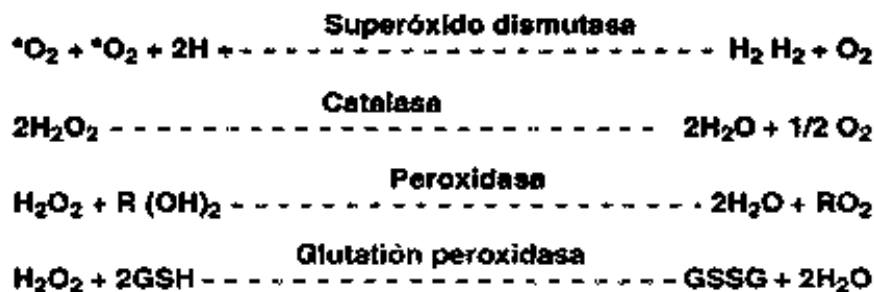


Figura 1. Sistemas antioxidantes enzimáticos y reacciones que catalizan (Paredes y Roca, 2002).

2.2.1 Compuestos fenólicos

Químicamente los fenoles pueden ser definidos como sustancias que poseen un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo, incluyendo a sus derivados funcionales. El anillo aromático juega un papel importante en las propiedades antioxidantes (Porras y López, 2009; Peñarrieta *et al.* 2014).

Los compuestos fenólicos participan en funciones metabólicas en las plantas, crecimiento y reproducción, además de brindar protección contra patógenos y estrés (radiación UV y depredadores). El color y características sensoriales de las plantas y alimentos (ejemplo; astringencia de frutas y verduras) están dadas por estos compuestos (Peñarrieta *et al.* 2014).

Los tres grupos más importantes en los que se dividen son: ácidos fenólicos, flavonoides y polifenoles. Se presentan en las plantas en forma conjugada con uno o más residuos de azúcar unido a los grupos hidroxilos, la forma más común de encontrarlos es en forma de glucósidos, siendo solubles en agua y solventes orgánicos (Martínez *et al.* 2002). La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos es debida a sus propiedades redox, es decir, son capaces de detener la reacción en cadena de los radicales libres gracias a su capacidad de donar hidrógeno a partir de los grupos hidroxilo fenólicos, formado así el producto final estable (Gómez *et al.* 2012).

La mayoría de estos compuestos pueden ser sustratos del pardeamiento enzimático y también pueden contribuir al oscurecimiento formando complejos con iones metálicos como el cobre y el hierro. Los compuestos fenólicos disminuyen con el grado de madurez en las frutas, pero aumentan como respuesta al estrés producido por magulladuras y por infecciones fúngicas. La

importancia y la magnitud de estas variaciones depende mucho del producto vegetal y de las condiciones de almacenamiento (Fennema, 2000).

2.2.2 Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos pertenecen a los grupos fenólicos simples que tienen un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo, se diferencian por los grupos R, como se muestra en la Figura 2. Son importantes en los alimentos por su participación en el flavor y color (especialmente en el pardeamiento enzimático), también por sus potenciales efectos beneficiosos en su salud, actividad antioxidante y acciones antimicrobianas (Gómez *et al.* 2012).

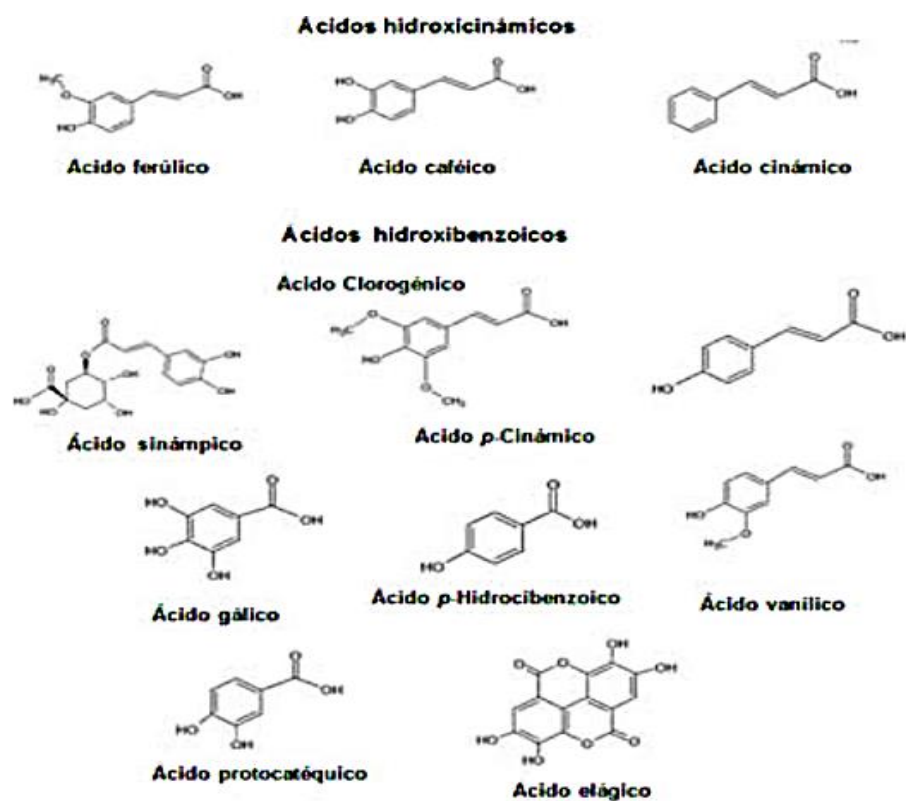


Figura 2. Estructura química de los ácidos fenólicos (Gómez *et al.* 2012)

2.2.3 Flavonoides

Los flavonoides (del latín *flavus*, amarillo) y las antocianinas son compuestos fenólicos solubles en agua, metanol y etanol, con características de glucósidos (Badui, 2013). En realidad, algunos flavonoides son precursores en la biosíntesis de antocianinas (Jackman y Smith, 1996).

El aglucón está formado por un esqueleto consistente en dos anillos bencénicos (A y B) y uno heterocíclico con oxígeno (C) formando un núcleo fenil-2-benzopirona (Cheynier, 1999) (Figura 3).

Son pigmentos no nitrogenados, con un esqueleto de difenilpropano derivado del ácido siquímico (Pérez, 2005). Los flavonoides pueden tener estructuras simples o muy complejas, debidas a la polimerización, como es el caso de los taninos condensados, que alcanzan pesos superiores a 30,000 Da (Badui, 2013).

Los flavonoides son un tipo particular de los polifenoles presentes en plantas, y son los compuestos responsables del color de las flores y frutas, son importantes en los sistemas de defensa frente a agentes agresores externos, también pueden actuar como señalizadores químicos, y pueden ejercer distintos efectos directos o indirectos sobre determinadas enzimas que afectan a la fisiología y el metabolismo de los vegetales (Quiñones *et al*, 2010). En los flavonoides de mayor importancia en los alimentos, los flavonoles son el grupo más importante: la quercetina está presente en el brócoli, cebolla, cerezas, col, espinacas, habas, miel, manzanas y uvas, mientras que el Kaempferol está en brócoli, fresas, puerro, rábano y remolacha, y la miricetina en uvas, algunos de estos flavonoides se pueden ver en la Figura 4. Dada su capacidad de capturar radicales libres y de crear complejos con los iones metálicos, tienen una actividad antioxidante muy alta; sin embargo, el hecho de que sean poco solubles en lípidos los hace poco adecuados para este fin; también inhiben la oxidación de la vitamina C en algunos alimentos (Badui, 2013).

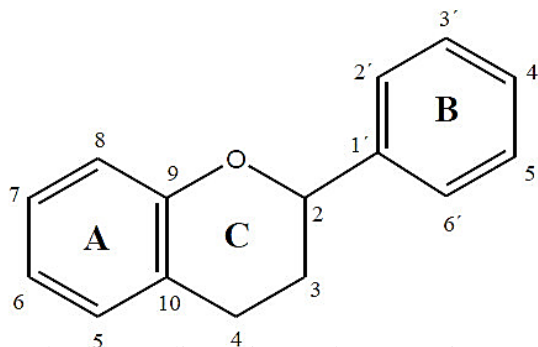


Figura 3. Estructura básica del esqueleto flavonólico y sistema de numeración. (Cartaya y Reynaldo, 2001)

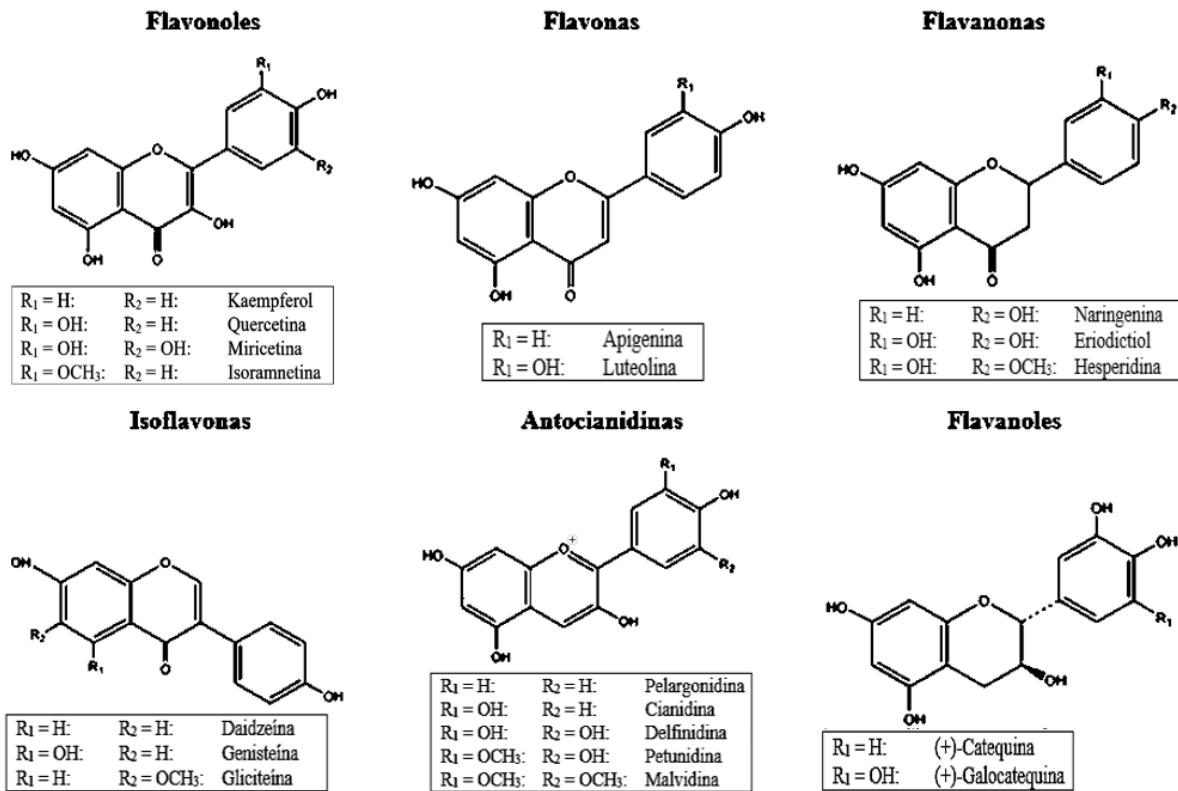


Figura 4. Núcleo estructural de los principales grupos de flavonoides. Se señalan ejemplos de algunos compuestos que son característicos de cada grupo (Cartaya y Reynaldo, 2001).

2.2.4 Polifenoles

Los polifenoles comúnmente conocidos como taninos están presentes en forma de polímeros de alto peso molecular, que dan a los alimentos la sensación de astringencia, son solubles en agua y se dividen en tres grupos en función de su tipo estructural: taninos hidrosolubles, taninos condensados y los florotaninos (Porrás y López, 2009). Los taninos condensados o leucoantocianinas, están como oligómeros solubles, con 2 a 6 núcleos fenólicos flavan-3-ol (catequina, epicatequina, epigalocatequina o epigalocatequina 3-O.galato), o como polímeros insolubles. Los taninos hidrolizables son ésteres de ácidos fenólicos (ácido gálico y elágico) con un azúcar (generalmente glucosa) o un polialcohol. Los florotaninos están constituidos por unidades floroglucinol ligadas por enlace carbono – carbono y carbono – oxígeno (Isaza, 2007).

La biosíntesis de los polifenoles como producto del metabolismo secundario de las plantas tiene lugar a través de dos importantes rutas primarias: la ruta del ácido siquímico y la ruta de los poliacetatos (Bravo, 2004). Por lo regular, en los alimentos contienen una mezcla compleja de polifenoles.

Existen diversos factores medioambientales como la luz, el grado de madurez o el grado de conservación que afectan al contenido total de polifenoles. Sin embargo, la exposición a la luz, es una condición fundamental para determinar el contenido de la mayoría de los polifenoles. El grado de conservación puede también determinar el contenido en polifenoles fácilmente oxidables, permitiendo la formación de más o menos sustancias polimerizadas que afectan al color y a las características organolépticas de los alimentos. La conservación en frío, sin embargo, no afecta al contenido de polifenoles. El contenido de polifenoles en los alimentos está también influenciado por los métodos culinarios de preparación; así, el contenido de polifenoles de las frutas y de los vegetales pueden disminuir por el simple hecho de pelar estos alimentos, ya que estas sustancias están a menudo presentes en altas concentraciones en las partes externas de los mismos. La cocción de los alimentos puede disminuir hasta un 75% el contenido inicial de polifenoles (Quiñones *et al.* 2010).

El contenido cualitativo y cuantitativo de polifenoles es diferente en cada especie vegetal. Entre las plantas con alto contenido en polifenoles se encuentran el cacao (*Theobroma cacao*), la uva (*Vitisvinifera*), el té (*Camelia sinensis*), la manzana (*Malus domestica*) y diversas bayas (Quiñones *et al.* 2010)

Como consecuencia de su acción antioxidante, los polifenoles poseen efectos vasodilatadores, antitrombóticos, antiinflamatorios y antiapoptóticos (Schroeter *et al.*, 2006; Dell, 2004; Williams *et al.*, 2004; Ruf, 1999).

2.3 Antioxidantes en la cáscara de mango

El mango puede ser considerado como una buena fuente de antioxidantes, teniendo el ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos, siendo el β -caroteno como el más abundante en algunas especies y los fenoles en otras. Los cultivares de mango difieren en su contenido de componentes antioxidantes debido a la variación genotípica y los factores previos a la cosecha, incluyendo las condiciones climatológicas, las prácticas agrícolas y la etapa de maduración (Rocha *et al.* 2007).

En la Tabla 1 se muestra la composición aproximada en la cáscara de mango (100g de masa seca) reportado por Ajila *et al.*, 2007 donde muestra que los fenoles son el principal grupo de antioxidantes presentes en la cáscara.

Tabla 1. Componentes nutrimentales en la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) (Ajila *et al.* 2007).

Componente	Contenido
Grasa (%)	2.2±0.06
Proteína total (%)	3.6±0.6
Carbohidratos totales (%)	80.7±1.2
Fibra dietaria total (%)	51.2±1.08
Fibra soluble (%)	19.0±0.26
Fibra insoluble (%)	32.1±1.34
Polifenoles totales (mgEAG/g)	96.2±1.4
Carotenoides totales (µg/g)	3092±98
Actividad antioxidante (µg)	79.6±2.2

En la Tabla 2 se muestran los compuestos fenólicos totales presentes en la cáscara de mango se han logrado identificar por HPLC alrededor de 14 flavonoides (Berardini *et al.* 2005).

Tabla 2. Contenido de flavonoides y glucósidos de xantonas en la cáscara de mango manila (*Mangifera indica* L.) (Berardini *et al.* 2005).

Compuestos antioxidantes	mg/kg de masa seca
Diglicósido de quercetina	145.9
Quercetina 3-O-gal	430.6
Quercetina 3-O-glc	282.5
Quercetina 3-O-xls	39.2
Quercetina 3-O-arap	27.6
Quercetina 3-O-araf	17.9
Quercetina 3-O-rha	15.6
Kaempferol 3-O-gcl	16.8
Ramnetina 3-O-gal/glc	14.6
Quercetina	1.7
Mangiferina	43.5
Isomangiferina	11.5
Mangiferina galato	7.8
Isomangiferina galato	3.0

2.4 Manzana gala

La manzana gala es una variedad de origen neozelandés resultante del cruce de 's orange con Golden delicious, siendo su cultivo recomendable en zonas de regadío españolas. Los árboles son de producción notable y regular, precisando aclareo químico. Es un fruto de estructura firme y carnosa, sin embargo, difiere en el color, tamaño y sabor, dependiendo de la variedad (Benitez, 2001)

Es resistente al frío y no necesita tanta cantidad de calor y luz para su maduración. Sufrir menos con el exceso de frío que con el de calor y prefiere los climas húmedos a los secos. Las flores y los frutos tiernos son muy sensibles a las heladas (SAGARPA, 2017).

México se sitúa en el decimotercer productor de manzana en el mundo. Se consume cruda en su mayor parte, cocinada en numerosos postres así como transformada industrialmente como jugos, sidra, néctares, yogurth, deshidratada, refrescos, vinagres, licores (SAGARPA, 2017).

Desde el punto de vista nutritivo la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta. Su componente mayoritario es el agua que está presente en un 85%, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares, la mayor parte fructosa (azúcar de la fruta) y en menor proporción, glucosa y sacarosa, de rápida asimilación en el organismo; son los nutrientes más abundantes después del agua. Tiene cantidades considerables de fibra, que mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio. Las enfermedades no transmisibles (ENT), especialmente las cardiovasculares (ECV) y el cáncer, representan un grave problema de salud pública. Es conocido que el consumo de frutas y hortalizas disminuye el riesgo de sufrir dichas enfermedades (Vrhovsek *et al.* 2004).

2.4.1 Antioxidantes en la manzana

Una de las características beneficiosas de la manzana para la salud humana es su actividad antioxidante, la que se debe fundamentalmente a su contenido de fenoles y flavonoides (Vrhovsek *et al.* 2004), en la Figura 5 se muestran los principales compuestos fenólicos. Los primeros se han categorizado en cinco grupos principales: ácido hidrocínámicos, flavanoles, flavonoles, dihidrochalconas y antocianinas (Khanizadeh *et al.* 2008).

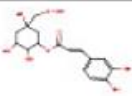
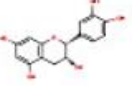
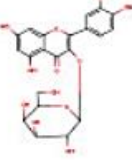
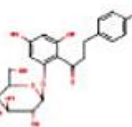
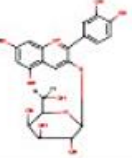
Grupo	Ejemplos	Estructura
Ácido hidrocínámico	Ácido clorogénico	 Ácido clorogénico
Flavanoles	Catequina Epicatequina Procianidina B2 y otras	 Epicatequina
Flavonoles	Q 3-galactósido Q 3-glucósido Q 3-xilósido Q 3-arabinósido Q 3-ramnósido	 Q 3-galactósido
Dihidrochalconas	Floridizina	 Floridizina
Antocianina	Cianidina 3-galactósido	 Cianidina 3-galactósido

Figura 5. Compuestos fenólicos descritos en manzanas (Khanizadeh *et al.* 2008).

Q. Quercetina

Algunos factores como la nutrición de la planta, zona climática donde se desarrolla, almacenaje y tipo de tejido (piel o pulpa), entre otros, influyen en el contenido de flavonoides. Respecto al tipo de tejido, hemos observado que la actividad antioxidante es 4 a 15 veces mayor en la piel que en la pulpa, dependiendo del cultivar (Yuri *et al.* 2009).

2.5 Recubrimientos comestibles

Se estiman que las pérdidas postcosecha de los productos hortofrutícolas que se producen en el mundo sobrepasan el 20%, debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos. Debido a la tendencia por la protección del medio ambiente, actualmente se encuentran investigaciones en la búsqueda de nuevas alternativas de empaques para frutas y verduras para disminuir el uso de empaques sintéticos no biodegradables (Aguilar, 2005).

La aplicación de recubrimientos comestibles es indispensable para alargar la vida en anaquel de los alimentos, dado que disminuyen la pérdida de agua, los procesos oxidativos (pardeamiento enzimático), limita a ciertos gases (O₂, CO₂, etileno), además que tienen la viabilidad de incorporar

aditivos naturales (antimicrobianos, antioxidantes, reafirmantes de la textura, nutrientes o ingredientes bioactivos), lo anterior para incrementar la seguridad, las características sensoriales, nutricionales y funcionales del alimento, también reducen el uso de envases sintéticos (Fernández *et al.* 2015).

Un recubrimiento comestible (RC) se puede definir como una matriz transparente continua, comestible y delgada, que se estructura alrededor de un alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento con el fin de preservar su calidad y servir de empaque. Por otra parte, una película comestible (PC) es una matriz preformada, obtenida por moldeo, cuyo espesor es siempre es mayor al de los RC (Del Valle *et al.* 2005).

El componente de mayor proporción es el polímero, el cual formará la red primaria para la formación de esta película, el plastificante se encuentra en menor proporción pero es un componente muy importante para la formación de la red, el objetivo es emulsificar las fases que no son miscibles, además de conferir propiedades como flexibilidad y resistencia (Ávila y López, 2008).

Es importante que el plastificante sea miscible en el polímero, por lo regular se utilizan compuestos con bajo peso molecular y alto punto de fusión, algunos pueden ser el sorbitol, glicerol, manitol, sacarosa y polietilenglicol, siendo plastificantes de grado alimenticio más utilizados (Ramos *et al.* 2010).

2.5.1 Clasificación de recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles pueden ser elaborados por una gran variedad de polisacáridos, proteínas y lípidos, ya sea solos o en combinaciones para aprovechar los beneficios de cada material, a lo anterior se le pueden incluir, conjuntamente plastificantes y emulsificantes con el fin de mejorar las propiedades finales del recubrimiento. Algunas características finales que deben presentar son: ser comestibles, transparentes, no deben provocar cambio de sabor u olor, proporcionar buenas propiedades de barrera contra el oxígeno y vapor de agua, etc (Bonilla *et al.* 2012).

La clasificación se basa de acuerdo al polímero utilizado, por otra parte, para la formación de la solución el solvente debe ser de un compuesto adecuado e inocuo para alimentos y que va a depender de la solubilidad del polímero, usualmente se usa agua con diversos valores de pH, también se utilizan soluciones acuosa de etanol o mezclas de solventes que faciliten su dispersión,

si se añade algún aditivo también influenciará en su elección. La temperatura de secada y ajuste de pH dependen principalmente del polímero a utilizar (Fernández *et al.* 2015).

Recubrimientos a base de polisacáridos: los polisacáridos están formados por una larga cadena de monosacáridos que puede estar ramificada o no y que la unión es mediante enlaces glucosídicos, estos hidrocoloides son ampliamente utilizados en la industria alimentaria. Los almidones naturales y modificados, gomas, agares, alginatos, quitosano, pectinas de alto y bajo metoxilo, la celulosa y sus derivados, son algunos de los polisacáridos más utilizados para la elaboración de recubrimientos y películas comestibles, los cuales han sido los más utilizados para recubrir frutos, debido a que no se ven afectadas por sustancias lipídicas, son transparentes, fuertes, flexibles y presentan buenas propiedades mecánicas de adherencia en la superficie del alimento. Debido a que son hidronímicos estos materiales, los recubrimientos comestibles elaborados a partir de ellos, son solubles en agua, empero, presentan una pobre barrera a la pérdida de humedad, por el contrario, forman una buena barrera a oxígeno, dióxido de carbono y lípidos (Vázquez y Guerrero, 2013; Fernández *et al.* 2015; Ramos, 2010).

Recubrimientos a base de lípidos: los lípidos son el conjunto de moléculas orgánicas, compuestas en su mayoría de carbono e hidrógeno, en menor medida de oxígeno y en menor grado por fósforo, azufre y nitrógeno, resultando se hidrofóbicas, es decir, que se disuelven en hidrocarburos pero no en agua. La ventaja es que son eficaces para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua (Vázquez y Guerrero, 2013; Fernández *et al.* 2015; Ramos, 2010).

Estos recubrimientos presentan algunas limitaciones tales como, propiedades mecánicas pobres y en ocasiones mala apariencia (García *et al.* 2000); es por eso que los lípidos son mezclados con otras sustancias como polisacáridos, ya que estas combinaciones proporcionan al recubrimiento mayor estabilidad (Koelsch, 1994; Martín. 2001; García *et al.* 2000),

Los lípidos más efectivos son la cera (abeja, candelilla y carnauba), resinas, monoglicéridos, diglicéridos y algunos ácidos grasos (Oregel, 2013).

Recubrimientos a base de proteínas: las proteínas son biomoléculas de elevado peso molecular (macromoléculas) y presentan una estructura química compleja. Dado que son hidrofóbicos y no poliméricos, presenta excelentes propiedades de barrera frente a la humedad y barrera a los gases, pero su falta de cohesividad e integridad estructural crean malas propiedades mecánicas formando recubrimientos quebradizos, aun así, reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior y pueden mejorar el brillo y la apariencia de muchos de los alimentos. Las

proteínas más utilizadas, tanto de origen animal como vegetal son: el colágeno, la gelatina, las proteínas miofibrilares de pescado, la queratina, las proteínas del huevo, la caseína, las proteínas del aislado de suero de leche, la zeína de maíz, el gluten de trigo, la proteína de soya, la proteína de cacahuete, entre otras (Vázquez y Guerrero, 2013; Fernández *et al.* 2015; Ramos, 2010).

2.5.2 Métodos de aplicación de recubrimientos comestibles

Algunas técnicas de aplicación para la obtención de recubrimientos se detallan a continuación (Flores, 2007):

Inmersión: consiste en la aplicación de las matrices comestibles donde se sumerge el alimento en la solución filmogénica preparada, se utiliza especialmente en alimentos que su forma irregular requiere de una cobertura uniforme y gruesa. Debe tenerse en cuenta que antes de esta aplicación, el alimento tiene que estar previamente lavado y secado. Al finalizar la inmersión, la solución excedente en el alimento se deja drenar y se deja secar o solidificar (lípidos).

Spraying: consiste en la aplicación de la solución filmogénica presurizada, en el cual el alimento adecuado es de superficie lisa y que necesitan ser recubiertos sólo en una de sus caras o para la separación de componentes de distinta humedad de un alimento compuesto. Con esta aplicación se obtiene un recubrimiento comestible fino y uniforme que con la técnica anterior.

Otros: la aplicación de recubrimientos comestibles puede lograrse mediante pinceles, cepillos, rodillos, o directamente vertidos sobre la superficie del alimento. Empero, se requiere elegir de manera adecuada el aplicador a utilizar para obtener el resultado deseado.

3. JUSTIFICACIÓN

Las películas comestibles se han utilizado ampliamente en alimentos, éstas tienen la viabilidad de incorporar aditivos naturales (antimicrobianos, antioxidantes, reafirmantes de la textura, nutrientes o ingredientes bioactivos), por otra parte, la cáscara de mango es un residuo que contiene diferentes compuestos bioactivos como carotenoides y flavonoides que le confieren una alta capacidad antioxidante y que pueden ser fácilmente incorporados mediante polvos, aceites o extractos a películas o recubrimientos comestibles, los cuales se pueden combinar para agregarse a la manzana que es un alimento rico en compuestos fenólicos siendo el sustrato más utilizado por la polifenoloxidasas y consecuentemente retardar el pardeamiento enzimático de la fruta.

4. OBJETIVOS

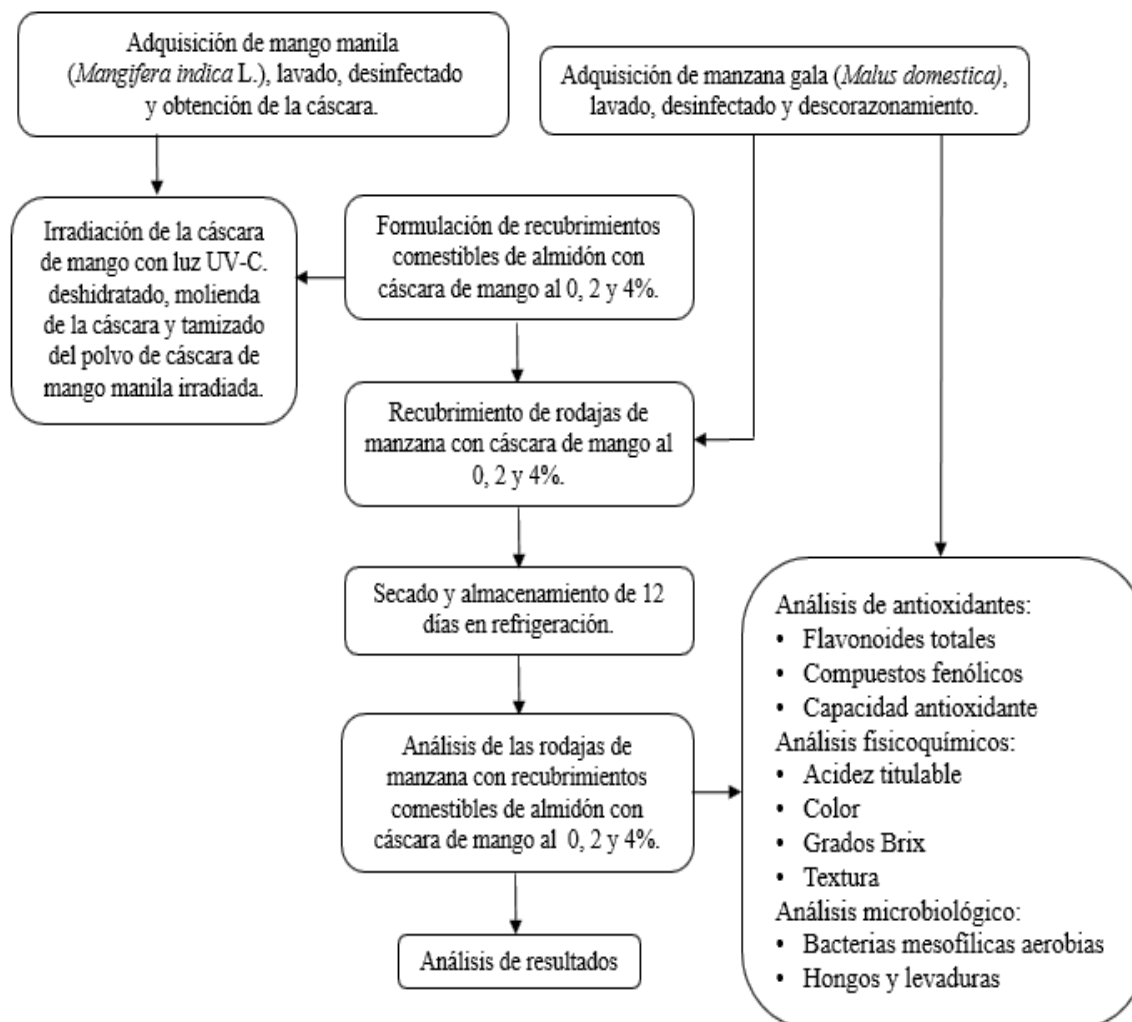
4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles de almidón con cáscara de mango manila (*Mangifera indica* L.) sobre la vida en anaquel de rodajas de manzana gala (*Malus domestica*).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y microbiológicas de manzana gala (*Malus domestica*).
2. Evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles de almidón adicionadas cáscara de mango manila (*Mangifera indica* L.) sobre las características fisicoquímicas, antioxidantes y microbiológicas de rodajas de manzana gala (*Malus domestica*) durante el almacenamiento en refrigeración.

5. DIAGRAMA DE TRABAJO



6. MATERIALES Y MÉTODOS

- Material de vidrio necesario para cada determinación.
- Reactivos: grado analítico necesarios para cada determinación.
- Material biológico: cáscara de mango (obtención en estudios previos) y manzana gala obtenida en un centro comercial local.
- Los equipos, marca y modelos utilizados en la investigación se presentan en la tabla 3.
- Los métodos y referencias de técnicas utilizadas se presentan en la tabla 4

Tabla 3. Equipos, marca y modelo usados.

Equipo	Marca	Modelo
Autoclave	GCO-lab	500
Balanza analítica	OHAUS®	PA313
Baño maría	Yamato®	BM-100
Batidora	Hamilton Beach®	727W-Mx
Colorímetro	Time Beijing Time High Technology Ltd®	TCR 200
Campana de flujo laminar vertical	Prendo®	CFL-120v
Deshidratador de alimentos	Excalibur ®	3926TB
Espectrofotómetro UV- visible	Spectronic 20 Genesys®	4001/4
Incubadora	SEVE®	E-41
Licuada	Oster®	BLSTBC4129-013
Micropipeta (10- 100 µL)	Transferpette S®	D-100
Micropipeta (100- 1000 µL)	Labmate Pro®	LMP 1000
Parrilla de calentamiento -agitación	Fisher Scientific®	Isotep
Potenciómetro	Conductronic®	pH 10
Refractómetro digital	Refractómetro Multi-Escala®	DBR85
Refrigerador	Whirlpool®	WS-5505Q
Stomaker	Stomaker 400 Circulator®	Seward
Texturómetro	Texture®	TA.XTPlus
Vórtex	IKAVortex 3®	140011124

Tabla 4. Métodos y referencias de técnicas utilizadas.

Determinación	Técnica	Fundamento	Referencia
Acidez titulable	Titulación con NaOH	Reacción colorimétrica con hidróxido de sodio (NaOH 0.1 N)	NMX-FF-011-1982
Grados Brix (SST)	Refractómetro digital	Cambio de dirección que sufren los rayos luminosos en el límite de separación de dos medios en los cuales es distinta la velocidad de propagación.	NMX-F-103-1982.
Capacidad antioxidante	Espectrofotometría (Lectura a 517 nm)	Reacción colorimétrica con el reactivo 2,2-difenil-1-picrihidrazil.	Molyneux, 2004.
Cuantificaciones de fenoles totales	Espectrofotometría (Lectura a 765 nm)	Reacción colorimétrica con reactivo Folin – Ciocalteu.	García <i>et al.</i> 2015
Cuantificación de flavonoides totales	Espectrofotometría (Lectura 490 nm)	Reacción colorimétrica con los reactivos de nitrito de sodio (NaNO ₂), cloruro de aluminio (AlCl ₃) e hidróxido de sodio (NaOH).	Alothman <i>et al.</i> 2009.
Color	Colorimetría		León <i>et al.</i> 2006.
pH	Potenciómetro	Medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un aparato medidor de pH (potenciómetro).	NMX-F-317-S-1978.
Microbiológicas	Vertido en placa	Inoculación de una cantidad conocida de muestra de prueba en un medio selectivo específico.	NOM-092-SSA1-1994

			NOM-109-SSA1-1994 NOM-110-SSA1-1994. NOM-111-SSA1-1994.
Textura	Texturómetro	Determinación de cambio de las propiedades físicas del producto por efecto de la compresión mecánica.	Palmero <i>et al.</i> (2007).

7. METODOLOGÍA

7.1 Primera etapa: Adquisición de mango manila (*Mangifera indica* L.), lavado, desinfectado y obtención de la cáscara. .

Se adquirió mango manila en un centro comercial local con características de madurez comercial, es decir con color, tacto y tamaño homogéneo, sin golpes ni magulladuras. Se enjuagó la fruta con agua potable para desprender impurezas visibles, se desinfectó con hipoclorito de sodio comercial usando 10 gotas por cada litro de agua potable durante 15 minutos, se enjuagó con agua destilada y se secó con una toalla limpia; se desprendió la cáscara de la fruta tratando de no exceder la cantidad de pulpa en la cáscara.

7.2 Segunda etapa: Irradiación de la cáscara de mango con luz UV-C. Deshidratado, molienda de la cáscara y tamizado del polvo de cáscara de mango irradiada.

Se irradió los trozos de cáscara de mango durante 15 segundos en una cámara de luz UV-C con 6 lámparas Phillips G15T8. Se cortó la cáscara de mango en pequeños pedazos homogéneos para facilitar su deshidratación, se sometió a deshidratado durante 18 horas a 45° C en un deshidratador de alimentos. Se trituro y se tamizó con una malla N° 100, obteniendo un tamaño de partícula homogéneo de 150 µm.

7.3 Tercera etapa: Adquisición de manzana gala (*Malus domestica*), lavado, desinfectado, descorazonamiento y corte en rodajas.

Se adquirió manzana gala en un centro comercial local, principalmente con las características de madurez comercial: color, tacto y tamaño homogéneo, sin golpes ni magulladuras. Se enjuagó la fruta con agua potable para desprender impurezas visibles, se desinfectó con hipoclorito de sodio comercial usando 10 gotas por cada litro de agua potable durante 15 minutos, se enjuagó con agua destilada, se secó con una toalla limpia, se descorazonó y se partió en rodajas de 1 cm.

7.4 Cuarta etapa: Formulación de recubrimientos comestibles de almidón con cáscara de mango.

Se formularon tres recubrimientos comestibles usando como polímero almidón (5%) y sorbitol (2%) como plastificante. Se solubilizó el almidón en hidróxido de sodio (NaOH) 0.125 N a 40 °C, se agregó el sorbitol y posteriormente se acidificó con ácido fosfórico (H₃PO₄) concentrado hasta que la solución del recubrimiento comestible alcanzó pH de 4, lo anterior se usó como control,

mientras que a las otras dos formulaciones se les adicionó el polvo de cáscara de mango manila en concentración de 2 y 4%.

7.5 Quinta etapa: Recubrimiento de rodajas de manzana con las diferentes formulaciones correspondientes.

Se sumergieron las rodajas de manzana gala en cada recubrimiento comestible de almidón asignado durante 5 minutos, se dejaron escurrir en rejillas de plástico durante 3 minutos y se repitió una vez más.

7.6 Sexta etapa: Secado y almacenamiento en refrigeración.

Las rodajas de manzana gala recubiertas con las formulaciones asignadas, además de las rodajas sin recubrir se llevaron a secado a temperatura ambiente con corriente de aire durante 7 horas en un deshidratador de alimentos. Una vez secas las manzanas recubiertas, se pasaron a charolas con tapa previamente desinfectadas, las cuales se marcaron con 0, 3, 6, 9 y 12 días para cada formulación y cada análisis. Se almacenaron en refrigeración a 5 °C.

7.7 Séptima etapa: Análisis de las rodajas de manzana con recubrimientos comestibles de almidón con cáscara de mango adicionados a rodajas de manzana.

Caracterización de antioxidantes:

Se realizaron extractos de cada muestra con 10 g de muestra y 50 ml de agua destilada y posteriormente se filtraron, por último se pasaron a frascos para la caracterización de antioxidantes.

- Flavonoides totales: Se fundamenta en formar un complejo de aluminio-flavonoide. Se realizó una dilución del extracto obtenido, en un tubo de ensayo, se tomó 50 µL de extracto en 450µL de agua destilada, se le agregó 0.5 ml de NaNO₂ (1.5%) en un tubo de ensayo, en ausencia de luz. Se agitó la mezcla durante 5 minutos en un vórtex a temperatura ambiente. Pasado este tiempo agregar 1ml de AlCl₃ al 3% y se agitó durante 1 minuto a temperatura ambiente. Por último, se adicionó a la mezcla 1 ml de NaOH (1 N) y se agitó durante 1 minuto a temperatura ambiente, velocidad media y se midió la absorbancia a 490 nm. Para el blanco se sustituyó el AlCl₃ (3%) por agua destilada. Los resultados se reportan en mg quercetina/100 g.
- Compuestos fenólicos totales: Se fundamenta en la reducción del reactivo Folin-Ciocalteu. Se realizó una dilución del extracto obtenido, en un tubo de ensayo, se tomó

50 µL de extracto en 950µL de etanol puro, se adicionó 1 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu (0.1M) a la dilución anterior. Se dejó reposar la mezcla por 3 minutos a temperatura ambiente, en ausencia de luz y agitar en un vórtex durante 15 segundos a baja velocidad. Pasado este tiempo, a la mezcla anterior se adicionó 1 ml de Na₂CO₃ (0.5%) y se dejó reposar la mezcla por 30 minutos, se agitó por 15 segundos antes de leer en el espectrofotómetro. La absorbancia se leyó a 765nm. Para el blanco se sustituyó el reactivo Folin-Ciocalteu por agua destilada. Los resultados se reportan en mg EAG/100 g.

- Capacidad antioxidante: Se fundamenta en la estabilidad del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH). Se realizó una dilución del extracto obtenido, en un tubo de ensayo, tomó 50 µL de extracto en 950µL de etanol puro, posteriormente a esta dilución se adicionó 1 ml de reactivo DPPH. Se mezcló perfectamente, se dejó reposar la reacción durante 30 minutos en ausencia de luz; se agitó antes de leer. Se realizó la lectura a 517nm. Para el blanco se sustituyó el DPPH por etanol puro. Los resultados se reportan en mg trolox/100 g.

Caracterización fisicoquímica:

- Acidez titulable: Se determinó mediante la norma NMX-FF-011-1982. Productos alimenticios no industrializados. Para uso humano. fruta fresca. determinación de acidez
- Índice de oscurecimiento (color): Se determinó con un colorímetro calibrándolo con un fondo blanco y uno negro, las manzanas sin recubrir y con recubrimiento comestible de almidón con cáscara de mango al 0, 2 y 4% fueron puestos sobre un fondo blanco y se midió la superficie de ésta cuantificándose L (luminosidad blanco-negro), a y b, rango de rojo a verde y de amarillo a azul respectivamente, Hue y Chroma se calculó con las ecuaciones 1 y 2; la prueba se realizó por duplicado a temperatura ambiente.

Ec. 1

$$1) Hue = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

Ec. 2

$$2) Chroma = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Donde a y b son los parámetros de color.

- Grados Brix: Se determinó mediante la norma NMX-F-103-1982. Alimentos. frutas y derivados. Determinación de. grados brix. foods.
- Textura (resistencia a la penetración): se analizó penetración por compresión a 5 mm/s con una punta de 3 mm, en los días 0, 3, 6, 9 y 12 a las manzanas sin recubrir y con recubrimiento comestible de almidón con cáscara de mango al 0, 2 y 4%, a temperatura ambiente y por duplicado.

Caracterización microbiológica:

Los análisis se realizaron basados en las siguientes normas.

- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

7.8 Octava etapa: Análisis de resultados.

Se realizó el análisis de los resultados obtenidos, mediante un análisis de varianza (ANOVA) usando el programa Minitab[®] Statistical Software, con una comparación de medidas utilizando la prueba de Turkey con un 95% de confianza, así como una interpretación de los mismos con sus respectivas conclusiones.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Caracterización de las rodajas de manzana

En la Tabla 5 se presentan las características fisicoquímicas de rodajas de manzanas frescas y recubiertas. Al comparar los resultados de las rodajas de manzana sin adición de cáscara de mango, se observa que hay un aumento en el contenido de sólidos solubles totales (SST) en 4.5 y 4.8% al adicionar cáscara de mango (2 y 4%, respectivamente), la cual se debe a los sólidos presentes en la cáscara de mango que se adicionó. Se observa que el pH se mantiene prácticamente constante, tanto en las manzanas sin recubrir como en las recubiertas con las formulaciones asignadas, por lo cual la aplicación de recubrimientos con cáscara de mango al 0, 2 y 4% no tuvo ningún efecto sobre el pH. La acidez titulable de las rodajas de manzanas recubiertas aumentó, observándose un mayor valor cuando se incrementó el porcentaje de cáscara de mango. Al respecto, es probable que los compuestos ácidos de la cáscara de mango proporcionen el incremento en la acidez. Por otra parte, el contenido de compuestos fenólicos en rodajas de manzanas sin recubrir fue de 33.4 mg EAG/100g, resultados más bajos fueron reportados por Ochoa *et al.* (2012) en rodajas de manzanas red delicious. Como se esperaba al aplicar película comestible con cáscara de mango se incrementó el contenido de compuestos fenólicos alcanzando un 75.8 mg EAG/100g con la adición de 4% de cáscara. Esta tendencia se observó también en el contenido de flavonoides totales y la capacidad antioxidante, alcanzándose hasta 705.1 mg quercetina/100g y 193.6 mg trolox/100g, respectivamente, con la adición de 4% de cáscara de mango.

8.2 Evaluación de las características de calidad de rodajas de manzana durante el almacenamiento.

8.2.1 Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

En la Figura 6, 7 y 8 se presentan el efecto de las diferentes formulaciones sobre flavonoides totales, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, respectivamente en rodajas de manzana almacenadas a 5 °C. Se observa que en el día 0 todas las formulaciones se ven favorecidas en el contenido de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante al aumentar la cantidad de cáscara de mango. Los valores encontrados son similares a los reportados por Ochoa *et al.* (2012), Pajak *et al.* (2017) y Guerreiro *et al.* (2016). Después de 12 días de almacenamiento, el contenido de flavonoides totales aumentó más en formulaciones con recubrimiento. Mientras que en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, el mayor incremento se observó en las manzanas sin recubrir, probablemente causado por la deshidratación de las rodajas de manzana y la

consecuente concentración de compuestos antioxidantes, tales como los flavonoides totales. En el presente estudio, al día 12 en almacenamiento los resultados de flavonoides aumentaron en relación a la cantidad de cáscara de mango adicionado, aunque, se observó una disminución no significativa ($p < 0.05$) en las formulaciones, tanto en compuestos fenólicos como en capacidad antioxidante. En este estudio se comprobó que la aplicación de recubrimientos comestible no afecta el contenido de flavonoides totales, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Tabla 5. Características fisicoquímicas en rodajas de manzana fresca y con recubrimiento.

Características	Sin recubrimiento	Control	Cáscara de mango (2%)	Cáscara de mango (4%)
Sólidos solubles totales (%)	12.0 ± 0.8c	14.1 ± 1.3b	16.5 ± 0.4a	16.8 ± 0.0a
pH	3.61 ± 0.04a	3.58 ± 0.03a	3.60 ± 0.01a	3.74 ± 0.01a
Acidez titulable (% ácido málico)	0.24 ± 0.0c	0.52 ± 0.1b	0.57 ± 0.2b	0.70 ± 0.3a
<i>L</i>	70.8 ± 1.5a	69.1 ± 5.0a	67.2 ± 1.5a	66.6 ± 3.5a
<i>a</i>	2.8 ± 0.1a	3.2 ± 4.1a	3.3 ± 0.9a	3.5 ± 3.2a
<i>b</i>	22.7 ± 0.0a	21.5 ± 5.5a	26.8 ± 2.3a	26.6 ± 3.8a
Hue	82.9 ± 0.0a	82.7 ± 8.8a	83.2 ± 1.2a	83.1 ± 5.9a
Croma	22.9 ± 0.0a	21.9 ± 6.1a	27.0 ± 2.4a	26.9 ± 4.2a
Compuestos fenólicos (mg EAG/100g)	33.4 ± 1.7c	39.7 ± 8.9c	49.3 ± 6.2b	75.8 ± 3.1a
Flavonoides (mg quercetina/100g)	377.5 ± 18.1c	414.4 ± 54.6b	419.0 ± 51.5b	705.1 ± 51.5a
Capacidad antioxidante (mg trolox/100g)	78.9 ± 1.3c	87.6 ± 11.3c	141.6 ± 4.1b	193.6 ± 7.5a

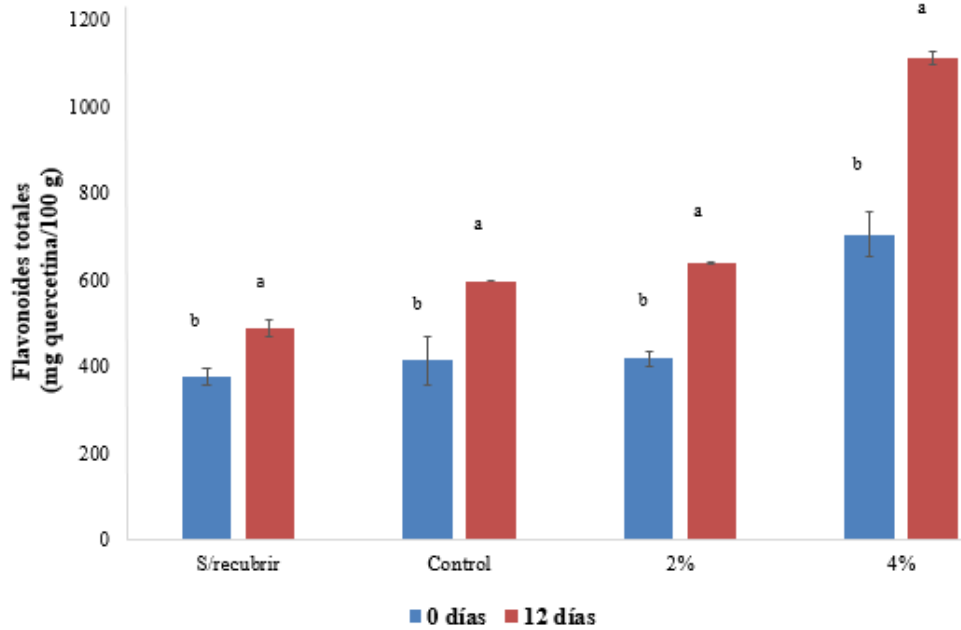


Figura 6. Efecto de las diferentes formulaciones sobre flavonoides totales en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C. Letras diferentes significa que hay diferencia significativa $p < 0,05$.

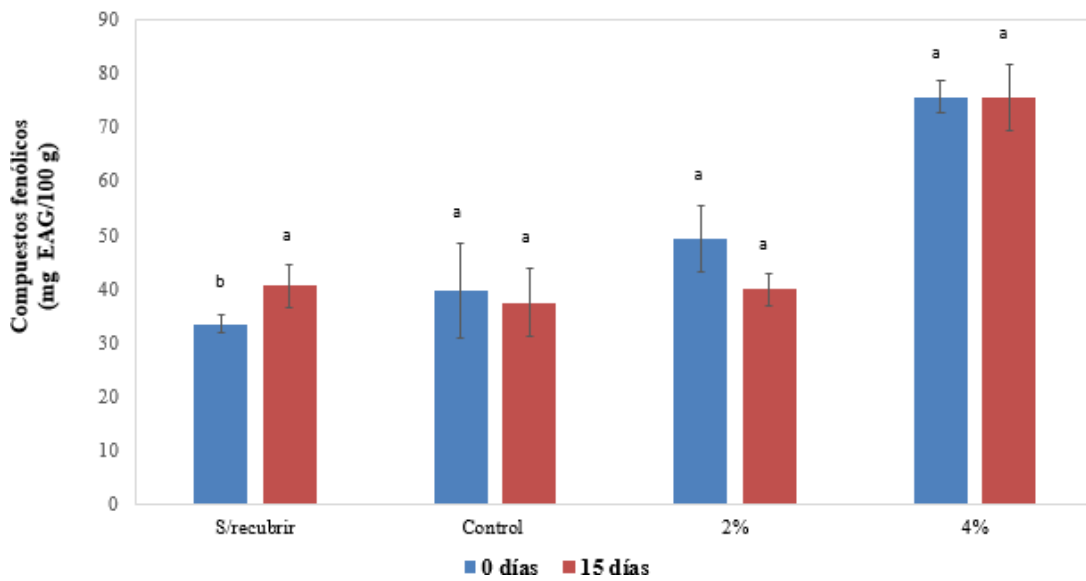


Figura 7. Efecto de las diferentes formulaciones sobre los compuestos fenólicos en rodajas, almacenadas a 5 °C.

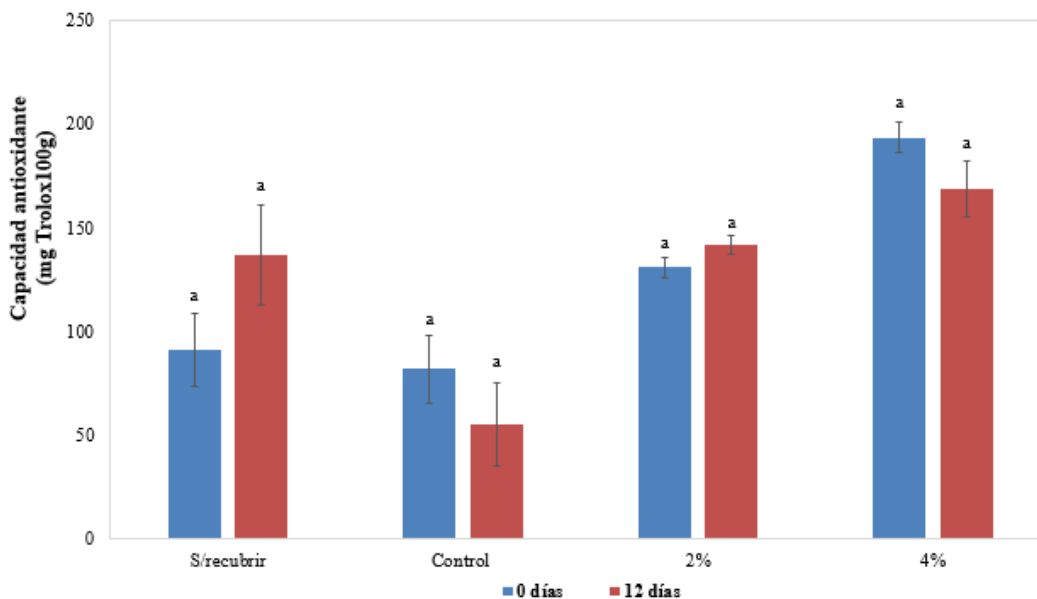


Figura 8. Efecto de las diferentes formulaciones sobre la capacidad antioxidante en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.

8.2.2 Firmeza (resistencia a la penetración)

En la Figura 9 se observa el efecto de las diferentes formulaciones sobre la firmeza (resistencia a la penetración) de rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C. Se puede observar en los valores iniciales que la aplicación de recubrimiento comestible incrementa de manera significativa ($p < 0.05$) la resistencia a la penetración, siendo mayor al aplicar el recubrimiento comestible y al aumentar la concentración de la cáscara de mango; por el contrario en las manzanas sin recubrir existe una menor firmeza. La pérdida de textura es una característica en los alimentos que se asocia con los cambios metabólicos como lo es el contenido de agua durante el periodo de almacenamiento prolongado. En el estudio de Guerreiro *et al.* (2016), indicaron que la pérdida de firmeza en manzanas bravo de esmolfe almacenadas a 4 °C sin recubrimiento y con recubrimientos: alginato 2% + eugenol 0.1% + ácido cítrico, pectina 2% + citral 0.15% + ácido cítrico y pectina 2% + eugenol 0.2% + ácido cítrico fue de 12.5, 7.4, 15.1 y 17.7%, respectivamente, durante 8 días de almacenamiento. También en el estudio de Pérez (2017), reporta que las manzanas gala tratadas con timol libre mostraron mayor pérdida de firmeza que las manzanas sin tratar durante 12 días de almacenamiento. Mientras que en este estudio, se observa una disminución de 32.9, 24.2 y 33.5% sobre la resistencia en las manzanas con cáscara de mango al 0, 2 y 4%, respectivamente, pudiéndose asociar a la interacción de componentes del

recubrimiento con el tejido celular de la fruta y así produciendo este cambio en la firmeza, no así en aquellas manzanas sin recubrir donde hubo un aumento en la firmeza (23.1%), lo cual se puede deber a la pérdida de agua por parte de la manzana con el consecuente endurecimiento de las mismas.

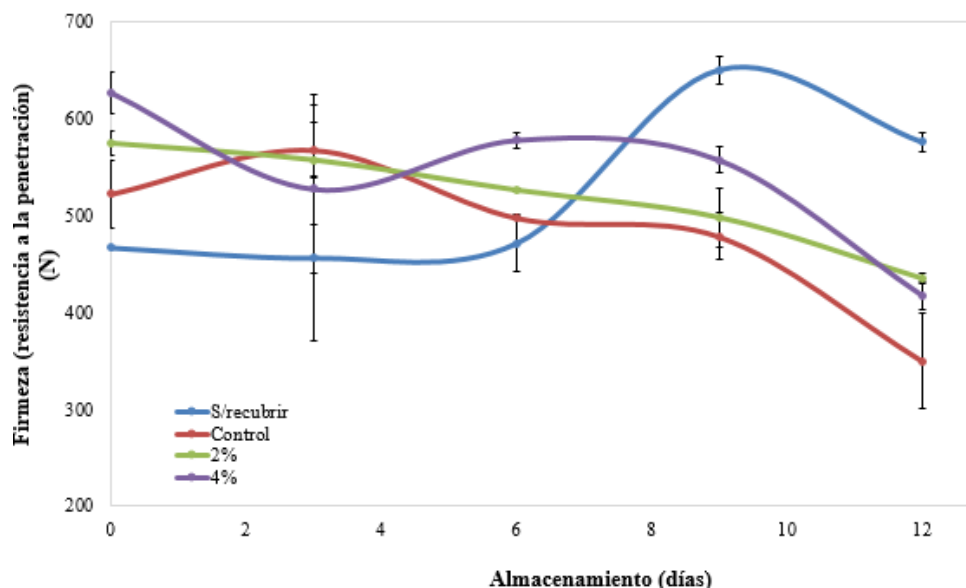


Figura 9. Efecto de las diferentes formulaciones sobre la firmeza en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.

8.2.3 Índice de oscurecimiento (color)

En la Figura 10 se muestra el efecto de las diferentes formulaciones sobre el índice de oscurecimiento de rodajas de manzanas recubiertas y control almacenadas a 5 °C. En el día 0 de almacenamiento, la manzana recubierta sin cáscara de mango tuvo el menor valor de oscurecimiento debido a que el recubrimiento presenta un color ligeramente blanco, mientras que las manzanas recubiertas adicionadas con cáscara de mango presentaron un oscurecimiento mayor, lo que puede ser debido a color amarillento claro de la cáscara de mango. Por otra parte, al comparar el índice de oscurecimiento del día 0 y 12 se obtienen diferencias de pérdida de 12.4, 7.2, 11.9 y 13.5, en manzana sin recubrir y con la adición de cáscara de mango al 0, 2 y 4%, respectivamente. Este oscurecimiento se puede deber a la oxidación conocida como pardeamiento enzimático, aparecen compuestos pardos, como consecuencia de una serie de reacciones enzimáticas, que tienen como resultado la conversión de los compuestos fenólicos en polímeros coloreados (Holderbaum *et al*, 2010). Resultados similares fueron reportados por Pérez (2017),

los cuales observaron que en la elaboración de films de gelatina con nanopartículas de timol para la conservación de manzana existió oxidación desde el primer día en todas las muestras y que hasta el día 12 el timol y las nanopartículas de timol presentaron mayor oscurecimiento que las manzanas sin tratar.

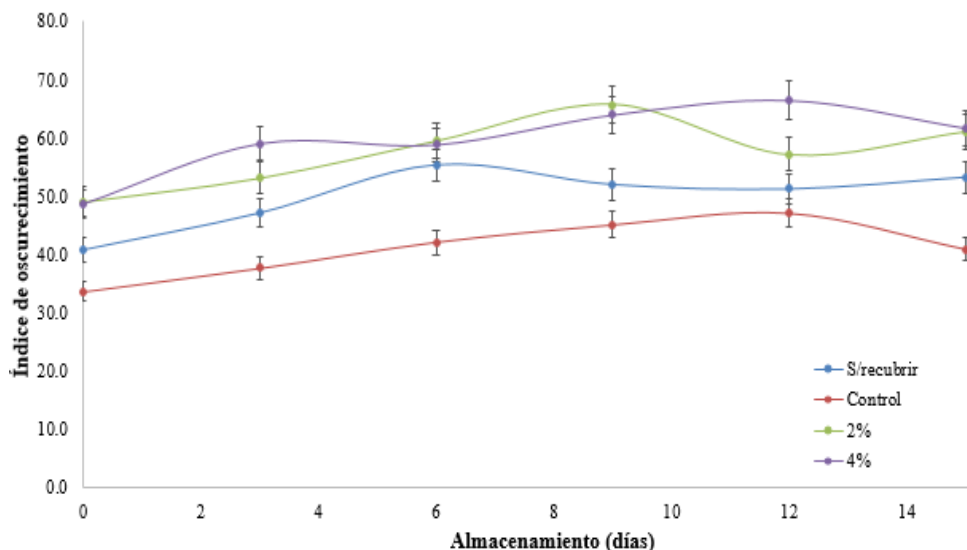


Figura 10. Efecto de las diferentes formulaciones sobre el índice de oscurecimiento en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.

8.2.4 Carga microbiana

En la Figura 11 y 12 se presenta el efecto de las diferentes formulaciones sobre el crecimiento de bacterias mesofílicas aeróbicas y el crecimiento de mohos y levaduras en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C. Al inicio del almacenamiento las rodajas de manzana sin recubrir y cáscara de mango al 2% presentaron la mayor velocidad de crecimiento, mientras que las manzanas con cáscara de mango al 0 y 4% presentan una fase lag de 2 días, posteriormente empieza el crecimiento, al final del almacenamiento todas las muestras presentan crecimiento microbiano de 2.5 ciclos logarítmicos, esta misma tendencia se logra apreciar en mohos y levaduras. Sin embargo, se puede observar que los valores obtenidos cumplen la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994 con $1,5 \times 10^5$ UFC/g, referido a ensaladas verdes, crudas o de frutas.

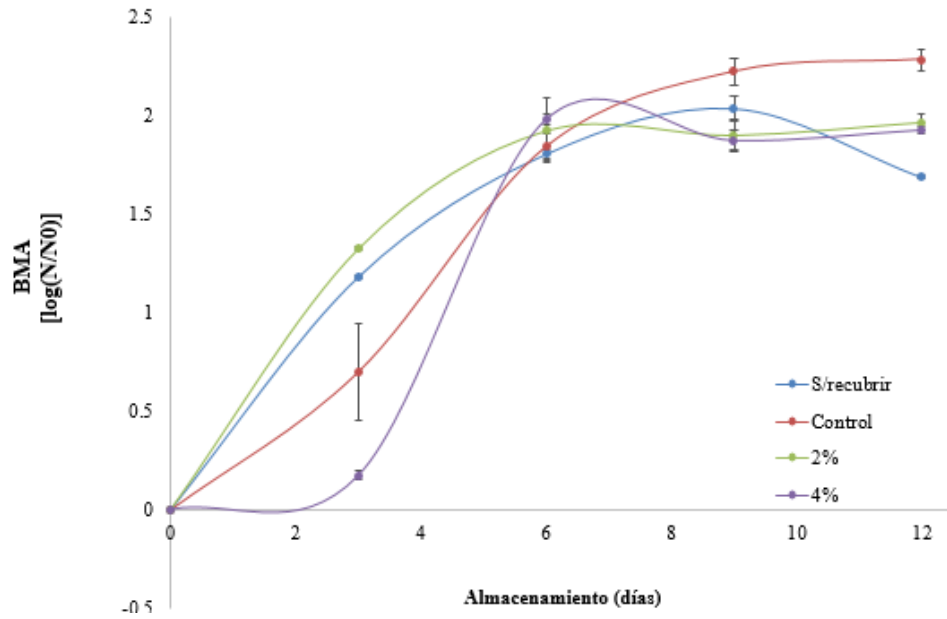


Figura 11. Efecto de las diferentes formulaciones sobre el crecimiento de bacterias mesofílicas aerobias en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.

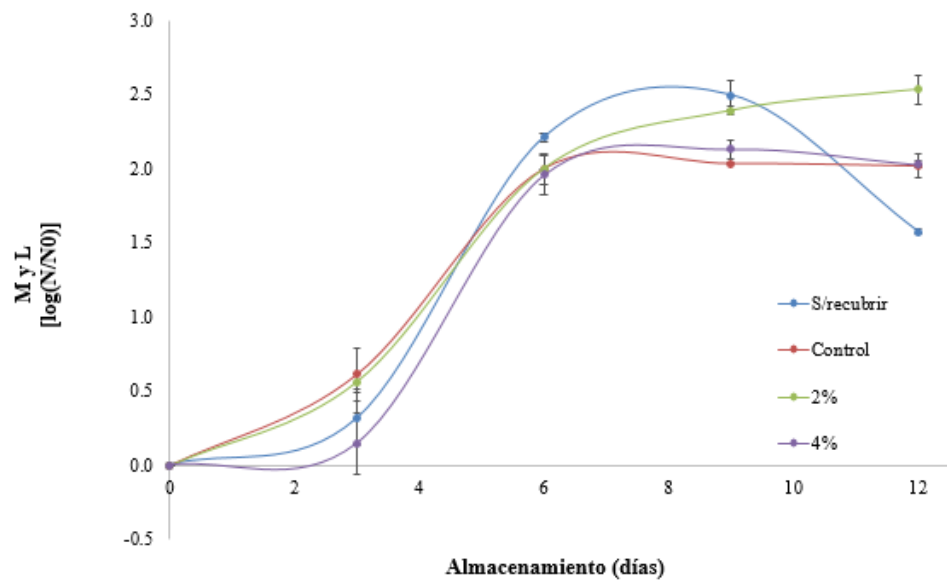


Figura 12. Efecto de las diferentes formulaciones sobre el crecimiento de mohos y levaduras en rodajas de manzana, almacenadas a 5 °C.

9. CONCLUSIONES

Se logró generar una película comestible hasta con 4% de cáscara de mango.

La aplicación de recubrimiento comestible con base en almidón adicionado con cáscara de mango incrementó la cantidad de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en las manzanas recubiertas, además de aumentar los SST, acidez titulable y la firmeza, sin afectar el pH de las rodajas de manzana.

Durante el almacenamiento el contenido de flavonoides totales incrementó en un 29.4, 44.7, 52.7 y 57.9% para las rodajas de manzana sin recubrimiento, con cáscara de mango al 0, 2 y 4% respectivamente; sin embargo, el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante no se ven afectados significativamente después de 12 días de almacenamiento.

El índice de oscurecimiento fue mayor durante el almacenamiento con relación al porcentaje de cáscara de mango, mientras que la firmeza disminuyó al aumentar la cantidad de cáscara de mango.

Las rodajas de manzana con recubrimiento comestible adicionada con 4% de cáscara de mango presentan una disminución, una fase lag de 2 días, sin embargo, después de 6 días de almacenamiento la carga microbiana en ambos tipos de microorganismos fué mayor que en las demás muestras, sin embargo, en ninguna rodaja se supera lo reportado por la Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994 donde se establece como límite $1,5 \times 10^5$ UFC/g, referido a ensaladas verdes, crudas o de frutas.

Los recubrimientos comestibles a base almidón muestran tener viabilidad para alargar la vida en anaquel en las manzanas.

10. SUGERENCIAS

Se sugiere realizar una evaluación sensorial.

Se sugiere la incorporación de cáscara de mango a otras fuentes de recubrimiento comestible y/o aplicación a otro tipo de alimento.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, M.A. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Tesis de posgrado. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Instituto Politécnico Nacional.
2. Ajila, C.M., Naidu, K.A., Bhat, S.G. y Prasada, U.J.S. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry* 105: 982-988.
3. Alothman, M., Bhat, R. y Karim, A.A. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10:512-516.
4. Ávila, R. y López, A. (2008). Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 2-2:4-13.
5. Badui, D. (2013). Tecnología de los alimentos. México. 5ª Ed, Pearson
6. Bailey, L. (1941). The standard cyclopedia of horticulture. NY: McMillan and Company 3. 11:1774-1775.
7. a. Benitez, C.E. (2001). Cosecha y Poscosecha de Peras y Manzanas en los valle irrigados de la Patagonia. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle.
8. b. Benitez, C.E. (2001). Manzana gala. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle
9. Berardini, N., Fezer, R., Conrad, J., Beifuss, U., Carle, R. y Schieber, A. (2005). A screening of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars for their contents of flavonol O-and xhantone C-glycosides, anthocyanins, and pectin. *Juornal of Agricultural and food Chemistry* 53(5): 15631570.
10. Bonilla, J., Atarés, M., Vargas, A. y Chiralt. (2012). Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: possibilities and limitations. *J Food Eng* 110: 208-13.
11. Bravo, L. (2004). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev* 56: 317-333.
12. Cartaya, O. y Reynaldo, I. (2001). Flavonoides: características químicas y aplicaciones. *Cultivos Tropicales* 2: 2.
13. Cheynier, V. (1999). "Structure and colour properties of anthocyanins and related pigments", *Proc. 1st Int. Cong. Pigments in Foods*.
14. Dell, E. (2004). Vascular effects of wine polyphenols. *Cardiovasc Res* 63: 593-602.

15. Del Valle, V., Hernández, P., Guarda, A. y Galotto, M.J. (2005). Development of a cactus–mucilage edible coating (*Opuntia Picusindica*) and its application to extend strawberry (*Fragariaananassa*) shelf–life. *Food Chem.* 91:751–756.
16. Fennema, O.R. (2000). *Química de los alimentos*. Acribia. Zaragoza.
17. Fernández, D., Bautista, S., Ocampo, R., García, A. y Falcón, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 24: 52-56
18. Flores, S. (2007). Estudios básicos y aplicados tendientes al desarrollo de películas comestibles que sean soporte del antimicrobiano sorbato de potasio. Tesis Doctoral.
19. García, E.M. (2000). Lipid addition to improve barrier properties of edibles tarch based films and coatings. *Journal of Food Science* 65: 941- 947
20. Gómez, R., Martínez, G., Rodríguez, R. y Aguilar, C, (2012). Fuentes y beneficios de los antioxidantes fenólicos. *Cienciacierta* No.31
21. Guerreiro, A., Gago, C., Faleiro, M., Miguel, M. y Antunes, M. (2016). The effect of edible coatings on the nutritional quality of ‘Bravo de Esmolfe’ fresh-cut apple through shelf-life. *Elservier* 75: 210-219.
22. Halliwell, B. (1996). Antioxidants in human health and diseases. *Anual Review of Nutrition* 16: 33-50.
23. Hernández, H. (2003). Antioxidantes en alimento. *Revista Salud Pública y Nutrición.* 4:4.
24. Holderbaum, D.F., Kon, T., Kudo, T. y Guerra, M.P. (2010). Enzymatic browning, polyphenol oxidase activity and polyphenols in four Apple cultivars: dynamics during fruit development. *Hort Science* 45(8), 1150-1154.
25. Isaza, J. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientiaer Technica* XIII: 33.
26. Jahurul, M.H., Zaidul, I.S., Ghafoor, K., Juhaimi, F.Y., Nyam, K.L., Norulaini, N.A., Sahena, F., y Mohd, A.K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry* 183: 173–180.
27. Jackman, R. y Smith, D. (1996). “Anthocyanins and betalains”. *Natural Food Colorants*, Ed. Por G.A.F.
28. Khanizadeh, S., Tsao, R., Rekika, D., Yang, R., Charles, M.A. y Vasantha, H.P. (2008). Polyphenol composition and total antioxidant capacity of selected apple genotypes for processing. *J. Food Composition Analysis* 21: 396-401.
29. Koelsch, C. (1994). Edible water vapour barriers properties and promise. *Trends in Food Science and Technology* 51:76- 81.

30. Martín, S. (2001). Food packaging using edible coatings. Rev. Tecnol. Higiene Alimentos 325: 29-38.
31. Martínez, I., Periago, J.M. y Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Journal of the Science of Food and Agriculture. 82: 323-330.
32. Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenyl picryl hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 26:212-219.
33. NMX-FF-061-SCFI-2003 Productos agrícolas no industrializados para consumo humano fruta fresca manzana (*Malus pumilamill*)-(*Malus domestica borkh*)- especificaciones (cancela a la nmx-ff-061-1993-scfi).
34. NMX-FF-011-1982 Productos alimenticios no industrializados, para uso humano - fruta fresca - determinación de acidez titulable - método de titulación.
35. NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. determination of pH in foods.
36. NMX-F-083-1986. Alimentos. determinación de humedad en productos alimenticios. foods. moisture in food products determination.
37. NMX-F-103-1982. Alimentos. frutas y derivados. determinación de grados brix. foods. fruits and derivatives. determination of degrees brix.
38. NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
39. NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.
40. NOM-109-SSA1-1994. Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
41. NOM-110-SSA1-1994. Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
42. NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
43. Ochoa-Velasco, CE., Luna, JJ. y Pérez, F. (2012). Efecto de la aplicación de aceite esencial de orégano mexicano (*Lippia graveolens*) y tomillo (*Thymus vulgaris*) en factores de calidad de rodajas de manzana (*Malus domestica*). Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3 (2): 247-269.

44. Oregel, E. (2013). Aplicación de cubiertas comestibles formuladas con cera de candelilla para la conservación de fresa. Tesis de maestría en ciencias en producción agrícola sustentable.
45. Pajak, M. (2017). Antioxidant properties of apples lices stored in starch-based films. *International Journal of Food Properties* 20(5): 1117-1128.
46. Paredes, F. y Roca, J. (2002). Influencia de los radicales libres en el envejecimiento celular. *Elservier* 21(7).
47. Peñarrieta, M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. y Bravo, J. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista Boliviana de Química* 31(2).
48. Pérez-Magro, M. (2017). Elaboración de films de gelatina con nanopartículas de timol para la conservación de manzana. Trabajo fin de máster.
49. Pérez, G. (2005). “Los flavonoides antioxidantes o prooxidantes”. *Rev Cubana Invest Biomed* 22(1).
50. Porras, A.P. y López, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas seleccionados de ingeniería de alimentos* 3(1): 121-134.
51. Quiñones, M., Miguel, M. y Aleixandre, A. (2010). The polyphenols, naturally occurring compounds with beneficial effects on cardiovascular disease. *Nutr. Hosp* 27(1).
52. Ramos, M., Bautista, S., Barrera, L., Bosquez, E., Alia, I y Estrada, M. (2010). Compuestos Antimicrobianos Adicionados en Recubrimientos Comestibles para Uso en Productos Hortofrutícolas. *Texcoco, Edo. de México. Rev. mex. fitopatol* 28(1).
53. Ramírez, V., Pañuela, L. y Pérez, M. (2017). Los residuos orgánicos como alternativa para la alimentación en porcino. *Revista de Ciencias Agrícolas* 34(2).
54. Rocha, S.M., Queiroz, J.H y López, M.E. (2007). Antioxidant in Mango (*Mangifera indica* L.)Pulp. *Plant Foods for Human Nutrition* 62: 13.
55. Ruf J. (1999). Wine and polyphenols related to platelet aggregation and atherothrombosis. *Drugs Exp Clin Res* 25: 125-131.
56. SAGARPA a. (2017). Mango. Mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.
57. SAGARPA b. (2017). Manzana. Mexicana. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030.
58. Schroeter, L. (2006). (-)-Epicatechin mediates beneficial effects of flavanol-rich cocoa on vascular function in humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 103: 1024-1029.
59. Vázquez, M.C. y Guerrero, J.A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*.

60. Velderrain, C. (2015), Antioxidant capacity and bioaccessibility of synergic Mango (cv. Ataulfo) peel phenolic compounds in edible coatings applied to fresh-cut papaya. *Food and Nutrition Sciences*, 6: 365-373.
61. Venereo, J.R. (2002). Daño oxidativo radicales libres y antioxidantes. *Rev Cubana MedMilit* 31(2): 126-33.
62. Villanueva, R. (2016). Introducción a la tecnología del mango. Guadalajara Jalisco, México. 1ª Ed.
63. Vrhovsek, U., Rigo, A., Tonon, D. y Mattivi, F. (2004). Quantitation of polyphenols in different apple varieties. *J Agric Food Chem* 52: 6532-6538.
64. Williams, M.J., Sutherland, W.H., Whelan, A.P., McCormick, M.P. y de Jong, SA. (2004). Acute effect of drinking red and white wines on circulating levels of inflammation-sensitive molecules in men with coronary artery disease. *Metabolism*; 53: 318-323.
65. Yepes, S., Montoya, I. y Orozco, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales frutas en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá, Colombia. *Rev. Fac.Nal.Agr.Medellín* 61(1):4422-4431.
66. Yuri, J.A., Neira, A., Quilodran, A. y Motomura, Y. (2009). Antioxidant activity and total phenolics concentration in apple peel and flesh is determined by cultivar and agroclimatic growing regions in Chile. *International Journal of Food, Agricultura &Environment*; 513 - 517.